

**А.Я. Кулик, Я.А. Кулик**  
*Вінницький національний технічний університет*

## **ІДЕНТИФІКАЦІЯ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ У СИСТЕМІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ**

На підставі розробленої математичної моделі проведено аналіз похибки ідентифікації прийнятого цифрового сигналу для системи передавання інформації. Показано, що ідентифікацію можна здійснювати за одним значенням на відміну від вимог класичних алгоритмів.

На основе разработанной математической модели проведен анализ ошибки идентификации принятого цифрового сигнала для системы передачи информации. Показано, что идентификацию можно осуществлять по одному значению в отличие от требованной классических алгоритмов.

On the basis of developed mathematical model the signal identification error for transmission system is analyzed. It was shown that identification can be done using a single value unlike classical algorithms' requirements.

**Ключові слова:** система передавання інформації, сигнал, ідентифікація, математичне сподівання, дисперсія.

**Вступ.** Для побудови комп'ютерної системи передавання інформації необхідно приділити увагу методу модуляції, відповідно до якого формуються сигнали, що призначаються для перенесення інформації. У сучасних системах використовується аналіз сигналів, як за допомогою синусоїдних або косинусоїдних функцій [1], так і функцій інших базисів (Хартлі, Уолша тощо) [2 – 6]. Для асинхронних систем на етапах очікування часове розташування  $x(t - \tau)$  стартового сигналу чи синхросимволу є невідомим параметром. Сам процес пошуку початкових сигналів незалежно від режиму роботи центрального процесора приймача (програмного чи переривань [7]) вимагає достатньо короткого циклу опитування (високої роздільної здатності за часом), що обов'язково потрібно враховувати на стадії проектування системи в цілому.

**Постановка задачі.** Метою оброблення сигналів у системах обміну інформацією є розв'язання двох задач: визначення вірогідних параметрів

сигналу, спотвореного дією завад або впливом середовища, яким передається сигнал, та оцінка змін параметрів сигналу під впливом цього середовища [8]. Оскільки процес передавання даних є багатоетапним, то на кожному з них можуть виникати як систематична, так і випадкова складові похибки. Визначення і оцінювання цих складових стає основною задачею при виділенні інформативного сигналу з шуму. Таким чином, оброблення прийнятих даних являє собою складну комплексну задачу, яка вимагає для її розв'язання залучення різноманітних методів та засобів.

**Метод розв'язування.** Умови роботи сучасних комп'ютерних засобів передавання інформації такі, що в каналі зв'язку крім флуктуаційних шумів  $\xi(t)$  і мультиплікативної завади  $\nu(t)$  наявний імпульсний потік

$$\chi(t) = \sum_{j=0}^{L-1} f_j(t - \Delta T) \quad (1)$$

з регулярно чи хаотичною структурою. Таким чином інформативний сигнал  $x(t)$  підпадає під вплив комбінованої завади і на вході приймача буде мати вигляд

$$\hat{x}(t) = \nu(t) \cdot x(t) + \chi(t) + \xi(t) . \quad (2)$$

Причиною виникнення імпульсного потоку  $\chi(t)$  можуть бути як зовнішні імпульсні завади, так і неінформативні імпульси (за рахунок перегонів та луна-сигналів), які можуть формуватися самою схемою передавача.

Під час приймання інформації найбільшу складність викликають імпульсні завади, вигляд яких нагадує інформативний сигнал – послідовність прямокутних імпульсів шпаруватістю 2 (меандр) і амплітудою, розподіленою за нормальним законом з математичним сподіванням  $m_\xi$  та дисперсією  $D_\xi$ . Енергетичний спектр такого коливання, усереднений за часом, описується співвідношенням [9]

$$G_{\xi}(\omega) = \frac{1}{\pi} \cdot \tau \cdot D_{\xi} \cdot \left( \frac{\sin \frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} \right)^2. \quad (3)$$

Потужність завади, нормована за смугою частоти,

$$G_{\xi.H}(\omega) = \frac{1}{\pi} \cdot \tau \cdot D_{\xi}, \quad (4)$$

або, з урахуванням того, що для флукуаційної завади  $\sigma_{\phi}^2 = 2\pi \cdot G_{\xi.H}(\omega)$ ,

$$D_{\xi.H} = \frac{\sigma_{\phi}^2}{2\tau}, \quad (5)$$

де  $\sigma_{\phi}$  – спектральна щільність флукуаційної завади.

Якщо врахувати, що миттєві значення завади розподілені нормально, то імовірність спотворення одного елементарного імпульсу тривалістю  $\tau$  для моменту часу  $t$  визначається

$$p_{\tau}(t) = \frac{1}{\sigma_{\xi} \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\hat{x}(t)} e^{-\frac{z^2}{2D_{\xi}}} dz. \quad (6)$$

З урахуванням визначених раніше умов передавання даних, спотворенням є така дія завади, яка призводить до інвертування сигналу. Враховуючи, що  $D_{\xi} \gg |\hat{x}(t)|$ , з (6) можна отримати [10]

$$p_{\tau}(t) = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\hat{x}(t)}{\sigma_{\xi}} = \frac{1}{2} - \Delta p_{\tau}(t). \quad (7)$$

Оскільки форма сигналу  $\hat{x}(t)$  за рахунок впливу завад відрізняється від прямокутної, то можна визначити тривалість еквівалентного прямокутного імпульсу такої самої амплітуди  $U_0$ , імовірність помилкового приймання якого дорівнює аналогічній імовірності прийнятого інформативного сигналу  $\hat{x}(t)$ . На інтервалі часу ідентифікації  $T$  гіпотетично може виникнути  $m$  імпульсів завади. Ділянка інформаційного посилання  $\Delta T$  після кореляційного аналізу буде вважатися спотвореною якщо більше ніж  $m/2$  імпульсів завади викликають інвертування інформативного сигналу. Імовірність цього  $p_{\Delta T}$  визначається

$$p_{\Delta T} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-m \cdot \Delta p_{\tau}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz, \quad (8)$$

де  $\sigma \approx \sqrt{m}/2$ ,

або

$$p_{\Delta T} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{m \cdot \Delta p_{\tau}}{\sqrt{2} \cdot \sigma}\right). \quad (9)$$

Імовірність  $p_{\Delta T} = const$  за умови  $m \cdot \Delta p_{\tau} / \sqrt{2} \sigma = const$ . З урахуванням умови спотворення

$$\frac{m \cdot \Delta p_{\tau}}{\sqrt{2} \sigma} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\hat{x}(t)}{\sigma_{\xi}} \sqrt{m}, \quad (10)$$

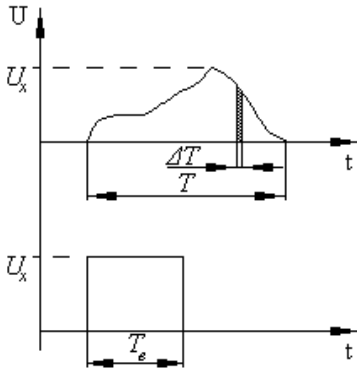
виходячи з чого  $\hat{x}(t) \cdot \sqrt{m} = const$ , і

$$\hat{u}_c \cdot \sqrt{m_0} = \hat{u}_i \cdot \hat{x}(t_i) \cdot \sqrt{m_i} \quad (11)$$

або

$$m_0 = \hat{x}^2(t_i) \cdot m_i . \quad (12)$$

Вираз (12) визначає кількість імпульсів  $m_0 = \frac{\Delta T_e'}{\tau_\xi}$ , які спотворюють з імовірністю  $p_{\Delta T}$  ділянку реального сигналу  $T/n < \Delta T = T \cdot m_0/n < T$  амплітудою  $U_0$ , з урахуванням того, що  $m_i = \frac{\Delta T}{\tau_\xi}$  характеризує кількість імпульсів завади, які спотворюють з такою самою імовірністю ділянку реального сигналу  $T \cdot m_i/n$  в



момент часу  $t_i$ . При цьому  $\Delta T$  визначає проміжок реального часу, а  $\Delta T_e'$  – ділянку умовного часу, в якому діє еквівалентний сигнал (рис. 1). Тоді

$$\frac{\Delta T_e'}{\tau} = \hat{x}^2(t) \frac{\Delta T}{\tau} \quad (13)$$

або

$$T_e = \int_0^T \hat{x}^2(t) dt . \quad (14)$$

Тобто, замість сигналу  $\hat{x}(t)$ , форма якого внаслідок впливу завад відрізняється від прямокутної, сформовано прямокутний імпульс (рис. 1),

який за характеристиками приймання еквівалентний початковому і має таку саму амплітуду  $U_e = v \cdot U_{nep}$ .

Аналогічно сформульованій для реального сигналу умові, спотворення посилання визначається його інвертуванням під впливом завади на інтервалі протягом більше половини тривалості або на відрахунках кількістю більше половини від загальної. Імовірність спотворення еквівалентного сигналу  $p_{x.e}$  дорівнює імовірності  $p_x$  спотворення реального сигналу

$$p_x = p_{x.e} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi \left( \frac{n_e \cdot \Delta p_\tau}{\sqrt{2} \cdot m} \right), \quad (15)$$

або

$$p_x = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi \left( \sqrt{2} \cdot \Delta p_\tau \cdot \sqrt{n_e} \right). \quad (16)$$

Тоді

$$n_e = \frac{T_e}{\tau} = \frac{1}{\tau} \int_0^T \hat{x}^2(t) dt = \frac{E_{np}}{\tau \cdot v \cdot U_0}. \quad (17)$$

З урахуванням

$$\Delta p_\tau = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{U_{np} \cdot \sqrt{\tau}}{\sigma_{\xi, \phi}}; \quad (18)$$

$$p_x = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi \left( \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{E}{\sigma} \right). \quad (19)$$

Але для біполярних двійкових сигналів потенційна завадозахищеність

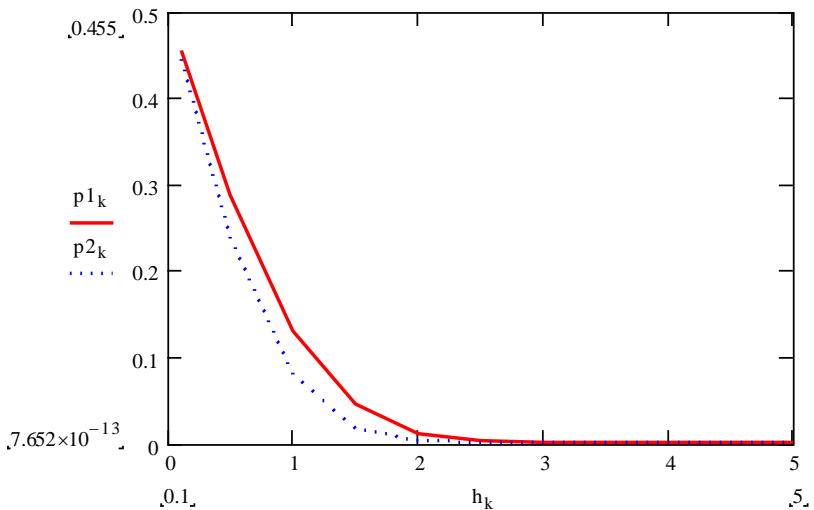
**Рис. 1. Прийнятий та еквівалентний сигнали**

визначається імовірністю помилки

$$p_{x.BI} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi \left( \frac{E}{\sigma} \right).$$

(20)

Оброблення миттєвих значень згідно з принципами побудови оптимального приймача Котельникова вимагає безкінцевої кількості відрахунків для відновлення прямокутного імпульсу. Ідентифікація імпульсу за принципом визначення одного середнього значення знижує завадозахищеність в  $\sqrt{\pi/2}$  разів. Різниця в імовірностях для цих випадків ілюструється на рис. 2.



**Рис. 2. Імовірності помилок при прийманні інформації:**  
 **$p1$**  – для випадку ідентифікації за одним значенням;  
 **$p2$**  – для випадку ідентифікації сигналу за теоремою Котельникова

Отримані графіки показують порівняно незначний вплив на завадозахищеність, але побудова приймача при цьому значно спрощується. Виходячи з цього, можна визначити умови фільтрації сигналів під час приймання інформації.

**Висновки.** Враховуючи, що форма сигналу, який надходить до приймача з каналу зв'язку, змінюється за рахунок впливу завад, показано адекватність ідентифікації інформативного сигналу за рядом значень згідно з теоремою Котельникова та ідентифікації за одним зареєстрованим значенням. Показано різницю в імовірності помилки при цих двох методах ідентифікації, яка для різних співвідношень *сигнал / шум* не перевищує 15%.

### Бібліографічні посилання

1. **Кузьмин И.В.** Основы теории информации и кодирования: [учебн. для студ. высш. уч. зав.] / И.В. Кузьмин, В.А. Кедрус. – К., 1986 – 238 с.
2. **Залманзон Л.А.** Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / Л.А. Залманзон. – М., 1989. – 496 с.
3. Хааро-подобные системы сигналов [Электрон. ресурс] / В.С. Выхованец. – Режим доступа: <http://www.autex.spb.ru>
4. **Брейсуэлл Р.** Преобразование Хартли. Теория и приложения: пер. с англ. / Р. Брейсуэлл. – М., 1990. – 175 с.
5. **Хармут Х.Ф.** Передача информации ортогональными функциями: пер. с англ. / Х.Ф. Хармут. – М., 1975. – 272 с.
6. Лекции по цифровой обработке сигналов [Электронный ресурс] / Е.Л. Столов. – Режим доступа: <http://www.kcn.ru/tat-ru/universitet/infres/stolov>
7. **Кулик А.Я.** Використання інтерфейсних мікросхем при проектуванні мікропроцесорних засобів автоматики: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / А.Я. Кулик. – Вінниця, 1999. – 129 с.
8. Повышение достоверности первичной обработки результатов измерений: тр. 5-й Междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и её применение (DSPA-2003)» [Электронный ресурс] / В.И. Марчук. – С.-Пб., – 2003 – Режим доступа: <http://www.autex.spb.ru>



9. **Харкевич А.А.** Борьба с помехами. / А.А. Харкевич – М., 1965. – 276 с.
10. **Прокис Дж.** Цифровая связь: пер. с англ. / Дж. Прокис. – М., 2000. – 800 с.

*Надійшла до редколегії 15.01.11*